

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 57 253.4

**Anmeldetag:** 7. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** GMR-Sensorelement und dessen Verwendung

**Priorität:** 26.7.2002 DE 102 34 347.0

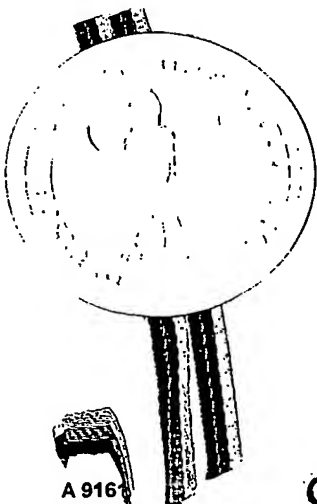
**IPC:** G 01 R, H 01 L, G 01 B

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der  
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Juli 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Azurks



A 916  
03/00  
EDV-L

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

29.10.2002 Kut

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

### GMR-Sensorelement und dessen Verwendung

Die Erfindung betrifft ein GMR-Sensorelement nach dem Hauptanspruch sowie dessen Verwendung.

#### Stand der Technik

Der Giant Magneto-Resistive Effekt (GMR-Effekt) lässt sich in Form sogenannter Spin-Valve-Strukturen (Spin-Ventile oder "Spin-Valves") für die Winkelsensierung nutzen. Dies ist beispielsweise in WO 00/79298 oder in EP 0 905 523 A2 beschrieben.

GMR-Spin-Valves bestehen im Kern aus zwei ferromagnetischen Dünnschichten mit einer resultierenden Magnetisierung  $m_1$  bzw.  $m_2$ , die durch eine dazwischen liegende, nicht magnetische Dünnschicht voneinander getrennt sind. Der elektrische Widerstand  $R(\alpha)$  eines solchen Schichtsystems zeigt dann cosinusförmige Abhängigkeit von dem Winkel  $\alpha$  zwischen der Richtung der Magnetisierung  $m_1$  und der Richtung der Magnetisierung  $m_2$  der Art:

$$R(\alpha) = \bar{R} - 0,5 \cdot \Delta R_{GMR} \cdot \cos(\alpha).$$

Die maximale relative Widerstandsänderung  $\Delta R_{GMR} / \bar{R}$  bezeichnet dabei GMR-Effekt und beträgt typischerweise 5 % bis 15%.

GMR-Spin-Valve-Schichtsysteme werden im Übrigen meist mittels Kathodenzerstäubung der jeweiligen Materialien abgeschieden, und dann mittels üblicher Photolithographieverfahren und Ätztechniken strukturiert.

Wesentlich für die beabsichtigte Spin-Valve-Funktion ist eine starre, durch ein von Außen auf das Schichtsystem einwirkendes Magnetfeld, das insbesondere hinsichtlich seiner Richtung und/oder Stärke detektiert werden soll, zumindest näherungsweise nicht veränderbare Richtung der Magnetisierung  $m_1$  der ersten ferromagnetischen Schicht, des sog. Reference Layer (RL) oder Referenzschicht, und eine sich leicht zumindest näherungsweise parallel zu dem äußeren Magnetfeld orientierende Richtung der Magnetisierung  $m_2$  der zweiten ferromagnetischen Schicht, des sog. Free Layer (FL) oder Detektionsschicht. Um beides zu erreichen, werden zum einen die beiden ferromagnetischen Schichten durch eine ausreichende Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht, des sogenannten Non-Magnetic Layer (NML), von typischerweise einigen Nanometern magnetisch entkoppelt, und die Magnetisierung der Referenzschicht (RL) z.B. durch eine zusätzliche, direkt benachbarte antiferromagnetische Schicht, einen sogenannten natürlichen Antiferromagneten (AF), und deren gegenseitige magnetische Kopplung durch Austauschwechselwirkung fixiert ("gepinnt").

Dies ist schematisch in Figur 1a dargestellt, wo das GMR-Schichtsystem oder GMR-Sensorelement unter dem Einfluss eines Magnetfeldes eines Gebermagneten steht.

Eine weiter verbesserte Stabilisierung der Referenzmagnetisierung erzielt man durch Hinzufügen eines zusätzlichen sogenannten synthetischen oder "künstlichen" Antiferromagneten (SAF). Dieser SAF besteht entsprechend Figur 1b aus zwei ferromagnetischen, über eine nichtmagnetische Zwischenschicht stark antiferromagnetisch gekoppelten Schichten. Diejenige dieser beiden ferromagnetischen Schichten, die direkt neben bzw. auf dem natürlichen Antiferromagneten AF liegt, wird als Pinned Layer (PL) bezeichnet, da ihre Magnetisierung  $M_P$  infolge der Kopplung an den natürlichen Antiferromagneten (AF) fixiert ("gepinnt") wird. Die zweite ferromagnetische Schicht des SAF, deren Magnetisierung  $M_R$  derjenigen des Pinned Layer (PL) infolge der antiferromagnetischen Kopplung entgegengesetzt orientiert ist, dient als Referenzschicht (RL) für das oben bereits beschriebene GMR-Spin-Valve-Schichtsystem.

Um das winkelabhängige Nutzsignal zu extrahieren, werden bei einem GMR-Sensorelement gemäß dem Stand der Technik vier Spin-Valve-Widerstandselemente z. B. mittels Aluminium-Dünnschichtleiterbahnen zu einer Wheatstone'schen Brückenschaltung (Wheatstone-Vollbrücke) zusammengeschaltet. Die maximale Signalamplitude

erhält man bei entsprechend Figur 2 entgegengesetzt orientierten Referenzmagnetisierungen  $M_R$  der Brückenwiderstände innerhalb der Halbbrücken und gleich orientierten Referenzmagnetisierungen  $M_R$  der in der Vollbrücke diagonal liegenden Widerstände.

Ein GMR-Winkelsensor besitzt in der Regel noch eine zweite Vollbrücke aus GMR-Widerständen, deren Referenzrichtungen, wie in Figur 2 gezeigt, relativ zu denen der ersten Vollbrücke um  $90^\circ$  verdreht sind. Das von der zweiten Vollbrücke bereitgestellte Signal  $U_{\sin}$  ist dadurch relativ zu dem Signal der ersten Vollbrücke  $U_{\cos}$  um  $90^\circ$  phasenverschoben.

Durch Arcustangensbildung bzw. dementsprechende Algorithmen (z.B. CORDIC-Algorithmus) wird dann aus den beiden cosinus- bzw. sinusförmigen Brückensignalen  $U_{\sin}$ ,  $U_{\cos}$  der über eine volle  $360^\circ$ -Umdrehung eindeutige Winkel  $\alpha$  zu der Richtung eines äußeren Magnetfeldes  $B$  bestimmt.

Die unterschiedlichen Referenz-Magnetisierungsrichtungen gemäß Figur 2 werden z.B. dadurch realisiert, dass die einzelnen GMR-Brückenwiderstände lokal auf eine Temperatur  $T$  oberhalb der Blockingtemperatur (Néel-Temperatur) der antiferromagnetischen Schicht (AF) jedoch unterhalb der Curie-Temperatur der ferromagnetischen Schichten (PL, RL) gemäß Fig. 1a bzw. Fig. 1b erhitzt werden, so dass die antiferromagnetische Spin-Ordnung in der antiferromagnetischen Schicht aufgehoben wird, und danach in einem äußeren Magnetfeld geeigneter Feldrichtung abgekühlt werden. Bei dem dabei erfolgenden erneuten Ausbilden der antiferromagnetischen Ordnung wird die aus der Austauschwechselwirkung an der Grenzfläche von antiferromagnetischer Schicht (AF) und benachbarter ferromagnetischer Schicht (PL) resultierende Spin-Konfiguration eingefroren. Folglich wird die Richtung der Magnetisierung der benachbarten ferromagnetischen Schicht (Pinned Layer PL) fixiert. Das lokale Aufheizen der GMR-Brückenwiderstände kann z.B. mittels eines kurzen Laser- oder Strompulses erfolgen. Der Strompuls kann dabei direkt durch die GMR-Leiterstruktur oder/und einen zusätzlichen Heizleiter getrieben werden.

Bei bekannten GMR-Winkelsensoren wird die Referenzmagnetisierung  $M_R$  der einzelnen Brückenwiderstände entweder parallel oder senkrecht zu der Richtung der streifenförmig strukturierten GMR-Widerstandselemente gewählt. Dies dient dazu, den Einfluss der

Formanisotropie gering zu halten. Weiterhin werden die streifenförmig strukturierten GMR-Widerstandselemente innerhalb einer Vollbrücke gemäß Fig. 2 bevorzugt parallel ausgerichtet. Dies dient der Unterdrückung eines Signalbeitrags aufgrund eines überlagerten Anisotrop-Magnetoresistiven Effekts (AMR-Effekt). Der AMR-Signalbeitrag beruht dabei auf einer Abhängigkeit des elektrischen Widerstands von dem Winkel  $\alpha$  zwischen der Strom- und der Magnetisierungsrichtung der Form:

$$R(\vartheta) = \bar{R} + 0,5 \cdot \Delta R_{AMR} \cdot \cos(2 \cdot \vartheta)$$

Werden dagegen die GMR-Widerstände innerhalb einer Halbbrücke mit orthogonaler Ausrichtung ihrer GMR-Streifen realisiert, wie dies beispielsweise in Figur 10 in WO 00/79298 der Fall ist, dann wird der AMR-Signalbeitrag sogar maximal begünstigt. Das wirkt sich verschlechternd auf die Winkelgenauigkeit des GMR-Winkelsensors aus.

#### Vorteile der Erfindung

Aus den genannten Gründen weisen daher bekannte GMR-Winkelsensoren keine rotationssymmetrische Anordnung der Brückenwiderstände auf. Beide Vollbrücken sind vielmehr üblicherweise lateral nebeneinander angeordnet. Dadurch ergibt sich als Folge der fehlenden Rotationssymmetrie eine erhöhte Empfindlichkeit bekannter Sensoren bezüglich der Richtungsinhomogenität des Geberfeldes, d.h. des von Außen einwirkenden Magnetfeldes, sowie bezüglich Temperaturgradienten.

Dadurch, dass bei bekannten GMR-Winkelsensoren die Pinning- bzw. Referenzrichtung innerhalb eines Brückenwiderstandes stets einen festen Winkel zur Streifenrichtung aufweist, bieten diese Sensoren weiter nicht die Möglichkeit, formanisotropiebedingte Einflüsse auf das Pinningverhalten und diesbezügliche Nachteile auf die Winkelsensierungsgenauigkeit auszugleichen.

Für einen 360° erfassenden Winkelsensor ist eine Rotationssymmetrie im Sensordesign hingegen sehr vorteilhaft, um nicht bereits durch eine Unsymmetrie in der Anordnung der einzelnen GMR-Widerstandselemente zusätzliche richtungsabhängige Winkelfehlerbeiträge zu erhalten.

Durch die erfindungsgemäße, rotationssymmetrische Anordnung der GMR-

Widerstandselemente in den beiden Wheatstone-Brücken wird daher sowohl eine reduzierte Empfindlichkeit gegenüber Feldrichtungs- und Temperaturinhomogenitäten erreicht, als auch ein unerwünschter AMR-Signalbeitrag unterdrückt und weiterhin der Formanisotropie-Einfluss auf das Pinningverhalten und die Winkelsensierungsgenauigkeit des GMR-Sensorelementes reduziert.

Besonders vorteilhaft ist weiter, wenn neben der rotationssymmetrischen Anordnung der GMR-Widerstandselemente in den beiden Wheatstone-Brücken eine ineinander verschachtelte Anordnung dieser Widerstände gewählt wird. Dies führt zu einer weiter reduzierten Empfindlichkeit gegenüber Feldrichtungs- und Temperaturinhomogenitäten.

Die Unterdrückung des störenden AMR-Signalbeitrags wird durch eine zusätzliche Aufteilung eines jeden einzelnen GMR-Brückenwiderstandselementes in zwei gleiche Hälften oder Teilbrückenwiderstände mit orthogonal zu einander orientierten GMR-Streifenrichtungen erreicht. Dies führt insbesondere auch zu einer Erhöhung der Winkelmessgenauigkeit. Vorteilhaft ist in diesem Zusammenhang weiter, dass sich dadurch, dass die Richtung der streifenförmig strukturierten GMR-Widerstandselemente ("GMR-Streifenrichtung") bei jeweils einem der beiden Teilbrückenwiderstände parallel und bei dem jeweils anderen Teilbrückenwiderstand senkrecht zur Pinning- bzw. Referenzrichtung gewählt wird, eine Mittelung des Einflusses von zur Streifenrichtung paralleler und senkrechter Pinningrichtungen innerhalb eines jeden der GMR-Brückenwiderstandselemente einstellt. Das Pinningverhalten ist dann wiederum für alle zweiteiligen GMR-Brückenwiderstandselemente identisch (Mittelung über jeweils beide Teile). In diesem Fall weisen die beiden Brückenausgangssignale  $U_1$ ,  $U_2$  zudem vorteilhaft zueinander eine 45°-Phasenverschiebung auf.

Falls die GMR-Widerstandselemente eine Pinning- bzw. Referenzrichtung aufweisen, die zumindest näherungsweise unter 45° zu der Richtung der streifenförmig strukturierten GMR-Widerstandselemente gewählt ist, führt dies vorteilhaft zu einem identischen Pinningverhalten der einzelnen GMR-Widerstandselemente, d.h. insbesondere zu einer verbesserten Signalstabilität und Langzeitstabilität des GMR-Sensorelementes. In diesem Fall besitzen die beiden Brückenausgangssignale  $U_1$ ,  $U_2$  zudem zueinander eine 45°-Phasenverschiebung.

Um einen beliebigen Winkel  $\phi$  gegeneinander phasenverschobenen Brückenausgangssignale  $U_1$ ,  $U_2$ , wobei  $\phi$  bevorzugt  $45^\circ$  ist oder um  $45^\circ$  liegt, können schließlich vorteilhaft durch eine Koordinatentransformation auf orthogonale Signale mit  $90^\circ$ -Phasenverschiebung abgebildet werden. Aus letzteren kann dann durch Arcustangensbildung bzw. einen entsprechenden Algorithmus, beispielsweise den CORDIC-Algorithmus, der gesuchte Winkel  $\alpha$  zu der Richtung des äußeren Magnetfeldes  $B$  bestimmt werden.

Die Koordinatentransformation bietet darüber hinaus den Vorteil, dass herstellungsbedingte Schwankungen der Phasendifferenz der beiden Brückenausssignale  $U_1$ ,  $U_2$  bei der Abbildung auf die orthogonalen Signale kompensierbar sind.

#### Zeichnungen

Es zeigt Figur 1a einen vereinfachten GMR-Spinvalve-Schichtaufbau mit zwei ferromagnetischen Schichten RL und FL mit den Magnetisierungen  $m_1$  und  $m_2$ , einer nichtmagnetischen Zwischenschicht NML sowie einer antiferromagnetischen Schicht AF. Letztere dient zum Fixieren (Pinnen) der Referenzmagnetisierung  $m_1$ . Daneben ist ein Gebermagnet zur Erzeugung eines äußeren Magnetfeldes  $B$  vorgesehen. Der Winkel  $\alpha$  bezeichnet den Winkel zwischen Feld- bzw. Magnetisierungsrichtung der freien ferromagnetischen Schicht (FL) und damit auch der Richtung des äußeren Magnetfeldes  $B$  in der Ebene des GMR-Sensorelementes und der Referenzmagnetisierungsrichtung.

Die Figur 1b zeigt ein GMR-Spinvalve-Schichtsystem mit einem natürlichen Antiferromagneten AF und einem zusätzlichen synthetischen Antiferromagneten SAF sowie einer weiteren nichtmagnetischen Zwischenschicht NML und einer ferromagnetischen freien Schicht FL.

Die Figur 2 zeigt ein Ersatzschaltbild für ein Winkelsensorelement auf der Grundlage des GMR-Effektes mit zwei Vollbrücken (Wheatstone'schen Brückenschaltungen), wobei die Referenzmagnetisierungen  $M_R$  innerhalb der beiden Brücken paarweise entgegengesetzt orientiert und von Brücke zu Brücke um  $90^\circ$  gegeneinander verdreht sind. Die Richtung der Referenzmagnetisierung  $M_R$  ist weiter parallel oder senkrecht zu der Richtung der einzelnen, streifenförmig strukturierten GMR-Widerstandselemente, die beispielsweise

gemäß Figur 1a oder Figur 1b aufgebaut sind. Diese "Streifenrichtung" wird durch die angedeutete Streifenschar innerhalb der einzelnen GMR-Widerstandselemente repräsentiert. Daneben ist in Figur 2 die Richtung eines äußeren Magnetfeldes  $B$  angegeben, das mit einer Referenzrichtung den mit dem GMR-Sensorelement zu messenden Winkel  $\alpha$  einschließt. Die Referenz- oder Nullrichtung wird dabei durch die Wahl der Referenzmagnetisierungsrichtungen in den beiden Vollbrücken definiert, von denen eine als sin-Vollbrücke und eine als cos-Vollbrücke ausgebildet ist.

Die Figur 3 zeigt eine rotationssymmetrische Anordnung mäandrierender, ineinander verschachtelter GMR-Brückenwiderstandselemente I/1 bis I/4 (Brücke I) und II/1 bis II/4 (Brücke II). Dabei sind die Richtungen der Referenzmagnetisierung (siehe eingetragene Pfeile in Figur 3) in Brücke I jeweils unter  $45^\circ$  zur Richtung der einzelnen, streifenförmig strukturierten GMR-Widerstandselemente orientiert, und die Referenzmagnetisierungsrichtungen in Brücke II jeweils um  $45^\circ$  gegenüber denjenigen in Brücke I gedreht. Daneben ist in Figur 3 die Richtung eines äußeren Magnetfeldes  $B$  angegeben, das mit einer Referenzrichtung den mit dem GMR-Sensorelement zu messenden Winkel  $\alpha$  einschließt. Die Referenz- oder Nullrichtung ist dabei durch die Wahl der Referenzmagnetisierungsrichtungen in Brücke I und Brücke II definiert, wobei die Brücke I einen cosinusförmigen Signalverlauf über den Winkel  $\alpha$  liefern soll.

Die Figur 4 zeigt ein Ersatzschaltbild zu dem Layout des GMR-Sensorelement gemäß Figur 3. Die Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung  $M_R$  ist dabei jeweils unter  $45^\circ$  zur GMR-Streifenrichtung, die erneut analog Figur 2 durch die innerhalb der einzelnen GMR-Widerstandselemente eingezeichnete Streifenschar angegeben ist, orientiert, und in Brücke II zusätzlich um  $45^\circ$  gegenüber derjenigen in Brücke I gedreht. Es ergibt sich eine Verstärkung des AMR-Signalbeitrags infolge zueinander orthogonaler Streifenrichtungen der Widerstände jeder Halbbrücke.

Die Figur 5a zeigt GMR-Sensorausgangssignale  $U_1$  und  $U_2$  mit  $45^\circ$ -Phasenunterschied gemäß einer Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung  $M_R$  unter  $45^\circ$  zur Streifenrichtung entsprechend Figur 3 bzw. 4. Die Figur 5b zeigt entsprechend transformierte, zueinander orthogonale GMR-Sensorsignale  $U_{\cos}$  und  $U_{\sin}$  mit  $90^\circ$ -Phasenunterschied. Der AMR-Signalbeitrag ist in Figur 5a und Figur 5b nicht dargestellt. Auf der x-Achse ist in Figur 5a bzw. Figur 5b jeweils die Richtung des äußeren Magnetfeldes  $B$  in Grad,



d.h. der Winkel  $\alpha$ , aufgetragen, während auf der y-Achse bei Figur 5a das GMR-Sensorausgangssignal in mVolt/Volt und bei Figur 5b das transformierte GMR-Sensorsignal in mVolt/Volt aufgetragen ist.

Die Figur 6 zeigt eine rotationssymmetrische, zumindest näherungsweise kreisförmige oder achteckige, ineinander verschachtelte Anordnung mäandrierender GMR-Brückenwiderstandselemente, wobei eine Unterdrückung des AMR-Signalbeitrags durch Aufteilung eines jeden der einzelnen Brückenwiderstandselemente in zwei gleiche Hälften mit zueinander orthogonaler Streifenrichtungen vorgenommen wurde.

Die Figur 7 zeigt ein Ersatzschaltbild zu dem Layout der GMR-Widerstandselemente gemäß Figur 6. Eine Unterdrückung des AMR-Signalbeitrags wird hier durch Aufteilung jedes Brückenwiderstandselementes I/1, I/2 bis II/4 in zwei Hälften a und b mit zueinander orthogonaler GMR-Streifenrichtungen erreicht. Die jeweilige Pinning- bzw. Referenzmagnetisierung  $M_R$  ist unter  $45^\circ$  zur jeweiligen GMR-Streifenrichtung orientiert. Letztere wird durch die innerhalb der einzelnen GMR-Widerstandselemente eingezeichnete Streifenschar angegeben.

Die Figur 8 zeigt ein Ersatzschaltbild zu dem Layout der GMR-Widerstandselemente gemäß Figur 6 mit zu Figur 7 alternativen Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtungen  $M_R$  unter  $0^\circ$  und  $90^\circ$  zur GMR-Streifenrichtung bei jedem der einzelnen Brückenwiderstände I/1, I/2 bis I/4. Eine Mittelung des Einflusses der Pinningrichtung erfolgt hier durch zur GMR-Streifenrichtung sowohl parallele als auch senkrechte Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung innerhalb jedes zweiteiligen Brückenwiderstandes I/1, I/2 bis I/4.

### Ausführungsbeispiele

#### a.) rotationssymmetrische Anordnung

Die Figur 3 zeigt eine mögliche rotationssymmetrische Anordnung von insgesamt acht Brückenwiderstandselementen zweier Vollbrücken (Wheatstone-Brücken). Im Gegensatz zu AMR-Sensoren, bei denen die Referenzrichtung durch die Stromrichtung, die durch die Streifenrichtung definiert wird, gegeben ist, wird bei dem GMR-Winkelsensor die

Referenzrichtung durch die Richtung der Magnetisierung der Referenzschicht (RL) definiert. Prinzipiell kann die Pinning- bzw. Referenzrichtung dabei beliebig gewählt werden, um jedoch bei allen Brückenwiderstandselementen das selbe Pinningverhalten zu erhalten, wird hier eine Orientierung der Pinning- bzw. Referenzrichtung unter  $45^\circ$  zur Streifenrichtung gewählt. Verdeutlicht wird dies weiter in Figur 4, wo neben der Streifenrichtung (Streifenschar innerhalb der Widerstandssymbole) auch die Richtung der Referenzmagnetisierung  $M_R$  angegeben ist.

#### b.) Abbildung auf orthogonale Signale

Im Fall einer Pinningrichtung oder Richtung der Referenzmagnetisierung unter  $45^\circ$  zur GMR-Streifenrichtung weisen die beiden Brückenausgangssignale  $U_1$  und  $U_2$  gemäß Figur 5a nicht die übliche Phasenverschiebung von  $90^\circ$ , sondern nur eine  $45^\circ$ -Phasenverschiebung auf. Diese Signale  $U_1$ ,  $U_2$  können jedoch auf einfache Weise auf die orthogonalen, cosinus- und sinusförmigen Signale gemäß Figur 5b transformiert werden. Hierzu wird in einer Sensor-Auswertelektronik folgende Transformation durchgeführt:

$$\begin{pmatrix} U_{\cos} \\ U_{\sin} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \cos(\varphi) & -1 \\ \sin(\varphi) & \sin(\varphi) \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_1 \\ \frac{U_1 \cdot \cos(\varphi) - U_2}{\sin(\varphi)} \end{pmatrix}$$

Hierbei bezeichnet  $\varphi$  die Phasenverschiebung des zweiten Brückensignals relativ zu dem ersten Brückensignal. Diese Phasenverschiebung kann prinzipiell beliebig gewählt werden, es wird jedoch bevorzugt eine Phasenverschiebung von  $45^\circ$  eingestellt.

Aus den mittels dieser Transformation erhaltenen cosinus- und sinusförmigen Signalen gemäß Figur 5b kann durch Arcustangens-Bildung bzw. durch Anwendung eines entsprechenden Algorithmus wie z.B. des CORDIC-Algorithmus in der Sensor-Auswertelektronik der Winkel  $\alpha$  bestimmt werden:

$$\alpha_{mess} = \arctan\left(\frac{U_{\sin}}{U_{\cos}}\right)$$

Die Implementation dieser Koordinatentransformation bietet weiter den wichtigen Vorteil, dass herstellungsbedingte Schwankungen der Phasenverschiebung der beiden Brückensignale  $U_1, U_2$  sensorspezifisch bei der Abbildung auf orthogonale Signale (90°-Phasenverschiebung) erfasst und kompensiert werden können. Dazu wird beispielsweise bei einem Offset- und Amplitudenabgleich der Signale  $U_1, U_2$  am Ende einer Produktionslinie auch diese Phasenverschiebung  $\varphi$  beispielsweise mittels Fourieranalyse der beiden Brückensignale  $U_1, U_2$  bestimmt, und in der Sensor-Auswerteelektronik gespeichert.

c.) rotationssymmetrische Anordnung mit Unterdrückung des AMR-Signalbeitrags

Die in Figur 3 dargestellte Widerstandsanordnung begünstigt den AMR-Signalbeitrag, da die GMR-Streifenrichtungen der beiden Brückenwiderstände einer jeden Halbbrücke orthogonal zu einander stehen. Dieser Nachteil kann vermieden werden, indem man gemäß der bevorzugten, ebenfalls rotationssymmetrischen Anordnung gemäß Figur 6 jeden Brückenwiderstand aus zwei gleichen Hälften mit senkrecht zueinander stehenden GMR-Streifenrichtungen zusammensetzt. Durch die Reihenschaltung der beiden Teilwiderstände mit jeweils identischer Referenzmagnetisierung  $M_R$  wird dann der AMR-Anteil herausgefiltert, während der GMR-Signalanteil infolge bei beiden Teilwiderständen identischer Richtung der Referenzmagnetisierung  $M_R$  unverändert bleibt. Verdeutlicht wird dieser Sachverhalt durch folgende Beziehung für ein zweiteiliges GMR-Brückenwiderstandselement:

$$\begin{aligned}
 R(\alpha) &= \frac{1}{2} \cdot \underbrace{\left( \bar{R} - 0,5 \cdot \Delta R_{GMR} \cdot \cos(\alpha) + 0,5 \cdot \Delta R_{AMR} \cdot \cos(2\vartheta) \right)}_{1. \text{ Teilwiderstands } \tan d} \\
 &+ \frac{1}{2} \cdot \underbrace{\left( \bar{R} - 0,5 \cdot \Delta R_{GMR} \cdot \cos(\alpha) + 0,5 \cdot \Delta R_{AMR} \cdot \cos(2(\vartheta - 90^\circ)) \right)}_{2. \text{ Teilwiderstands } \tan d} \\
 &= \bar{R} - 0,5 \cdot \Delta R_{GMR} \cdot \cos(\alpha)
 \end{aligned}$$

Hierbei bezeichnet  $\alpha$  den Winkel zwischen Feld- bzw. Magnetisierungsrichtung der freien ferromagnetischen Schicht (FL) und der Referenzmagnetisierungsrichtung;  $\vartheta$  bezeichnet den Winkel zwischen Feld- bzw. Magnetisierungsrichtung der freien Schicht (FL) und der GMR-Streifenrichtung des ersten Teilwiderstands. Die Streifenrichtung des zweiten Teilwiderstands ist um  $-90^\circ$  zu der des ersten Teilwiderstands gedreht.

#### d.) Pinningverhalten

Die Figur 7 verdeutlicht die Aufteilung der Brückenwiderstände in jeweils zwei Hälften mit zueinander orthogonalen Streifenrichtungen jedoch identischer Referenzmagnetisierungsrichtung  $M_R$ . Prinzipiell kann die Pinningrichtung bzw. die Richtung der Referenzmagnetisierung  $M_R$  beliebig gewählt werden. Bevorzugt ist jedoch ein Winkel von  $45^\circ$  zur jeweiligen Streifenrichtung, denn dadurch wird für alle Teilwiderstände ein identisches Pinningverhalten erreicht.

Alternativ kann auch eine Pinningrichtung oder eine Richtung der Referenzmagnetisierung  $M_R$  eingestellt werden, die bei jeweils einem der beiden Teilwiderstände parallel zur Streifenrichtung und bei dem jeweils anderen Teilwiderstand senkrecht zur Streifenrichtung orientiert ist. Dadurch wird zwar bei den einzelnen Teilwiderständen ein unterschiedliches, jedoch bei jedem der Brückenwiderstandselemente in Form einer Reihenschaltung der beiden Teilwiderstände insgesamt wiederum ein identisches Pinningverhalten erreicht.

Diese Wahl der Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung bietet gegenüber bekannten Sensoren den Vorteil, das innerhalb eines jeden Brückenwiderstandselementes über das unterschiedliche Pinningverhalten von paralleler und senkrechter Ausrichtung der Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung zur GMR-Streifenrichtung gemittelt wird.

Der beschriebene  $360^\circ$  GMR-Winkelsensor eignet sich besonders zur Detektion der Absolutposition der Nockenwelle oder der Kurbelwelle in einem Kraftfahrzeug, insbesondere bei einem nockenwellenfreien Motor mit elektrischer oder elektrohydraulischer Ventilsteuerung, einer Motorlage eines elektrisch kommutierten Motors oder einer Detektion einer Scheibenwischerstellung, oder in der Lenkwinkelsensorik in Kraftfahrzeugen.

29.10.2002 Kut

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Patentansprüche

1. GMR-Sensorelement mit einer rotationssymmetrischen Anordnung von insbesondere acht GMR-Widerstandselementen, die zu zwei Wheatston'schen Vollbrücken miteinander verschaltet sind.
2. GMR-Sensorelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die GMR-Widerstandselemente ineinander verschachtelt sind.
3. GMR-Sensorelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die GMR-Widerstandselemente streifenförmig strukturiert sind.
4. GMR-Sensorelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jedes GMR-Widerstandselement der Wheatston'schen Vollbrücken in zwei gleich aufgebaute Hälften mit orthogonal zu einander orientierten Richtungen der streifenförmig strukturierten GMR-Widerstandselemente unterteilt ist.
5. GMR-Sensorelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass damit eine eindeutige Messung eines Winkels ( $\alpha$ ) eines äußeren Magnetfeldes (B) gegenüber einer Richtung der Magnetisierung einer Referenzschicht (RL) über 360° durchführbar ist.
6. GMR-Sensorelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die GMR-Widerstandselemente zumindest näherungsweise kreisförmig oder achteckförmig angeordnet sind.
7. Verwendung eines GMR-Sensorelementes nach einem der vorangehenden Ansprüche in einem Winkelsensor zur Detektion der Absolutposition einer Nockenwelle oder einer Kur-

belwelle in einem Kraftfahrzeug, insbesondere bei einemnockenwellenfreien Motor mit elektrischer oder elektrohydraulischer Ventilsteuerung, einer Motorlage eines elektrisch kommutierten Motors oder einer Detektion einer Scheibenwischerstellung, oder in der Lenkwinkelsensorik in Kraftfahrzeugen.

---

29.10.02 Kut

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

GMR-Sensorelement und dessen Verwendung

Zusammenfassung

Es wird ein GMR-Sensorelement mit einer rotationssymmetrischen Anordnung von insbesondere acht GMR-Widerstandselementen vorgeschlagen, die zu zwei Wheatston'schen Vollbrücken miteinander verschaltet sind. Dieses GMR-Sensorelement eignet sich besonders zum Einsatz in einem Winkelsensor zur Detektion der Absolutposition der Nockenwelle oder der Kurbelwelle in einem Kraftfahrzeug, insbesondere bei einemnockenwellenfreien Motor mit elektrischer oder elektrohydraulischer Ventilsteuerung, einer Motorlage eines elektrisch kommutierten Motors oder einer Detektion einer Scheibenwischerstellung, oder in der Lenkwinkelsensorik in Kraftfahrzeugen.

Figur 3

1/8

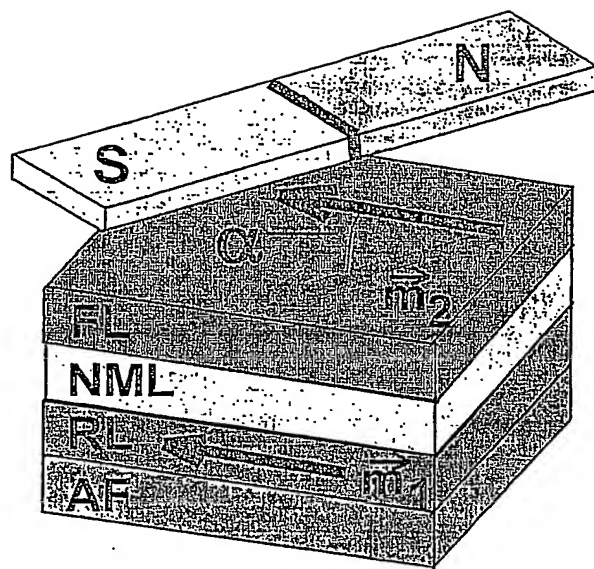


Fig. 1a

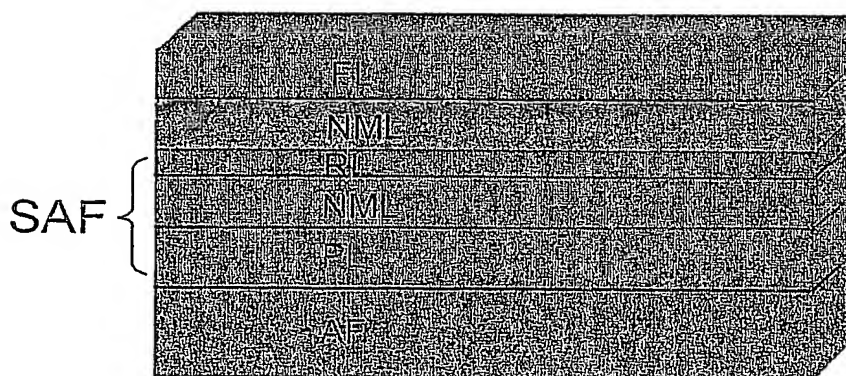


Fig. 1b



2/8

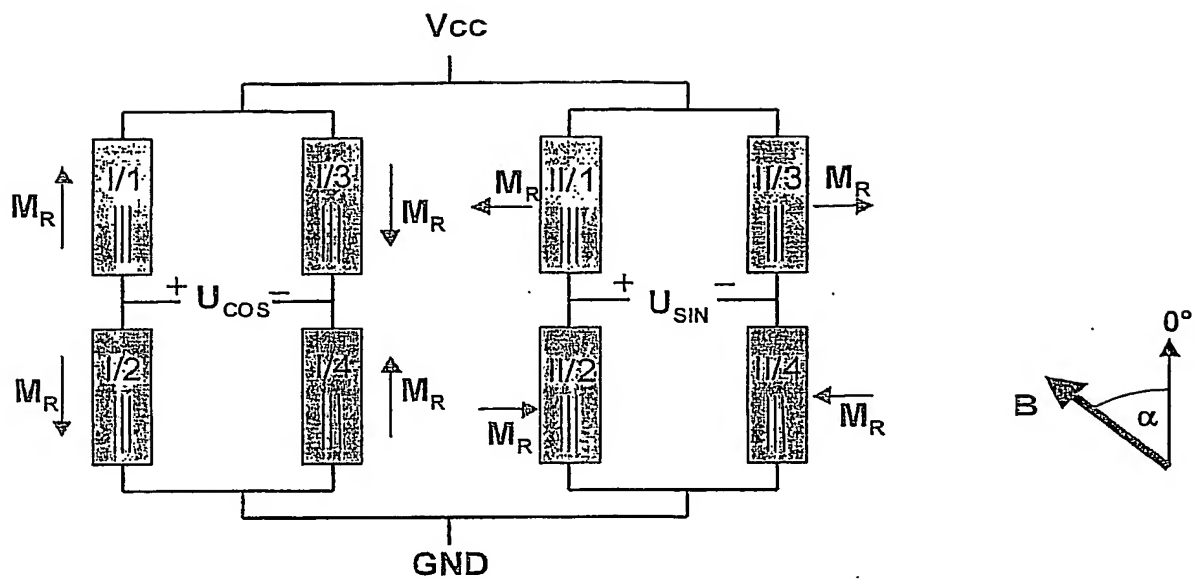
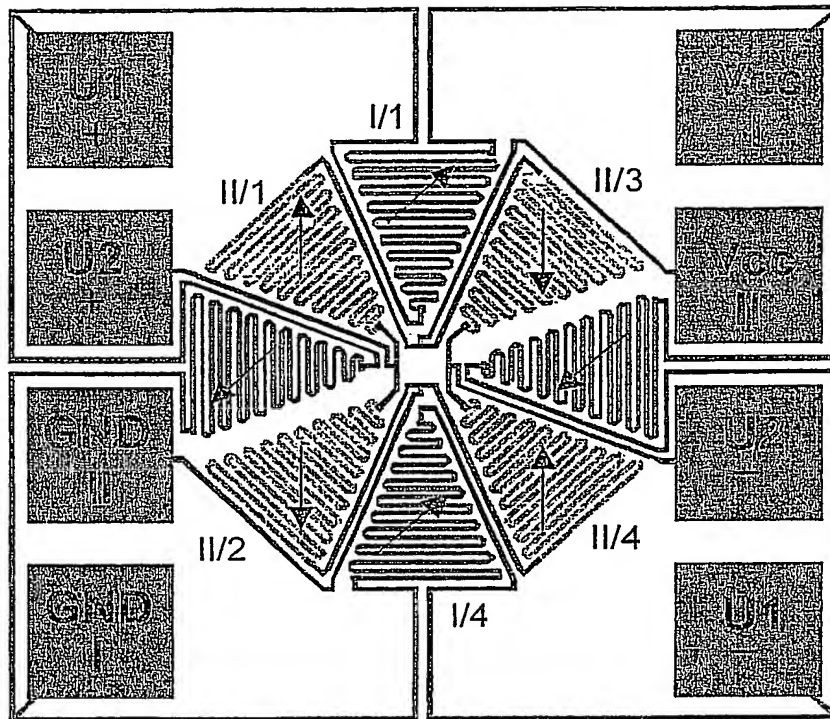


Fig. 2

3/8



I/3

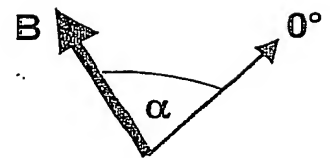


Fig. 3

4/8

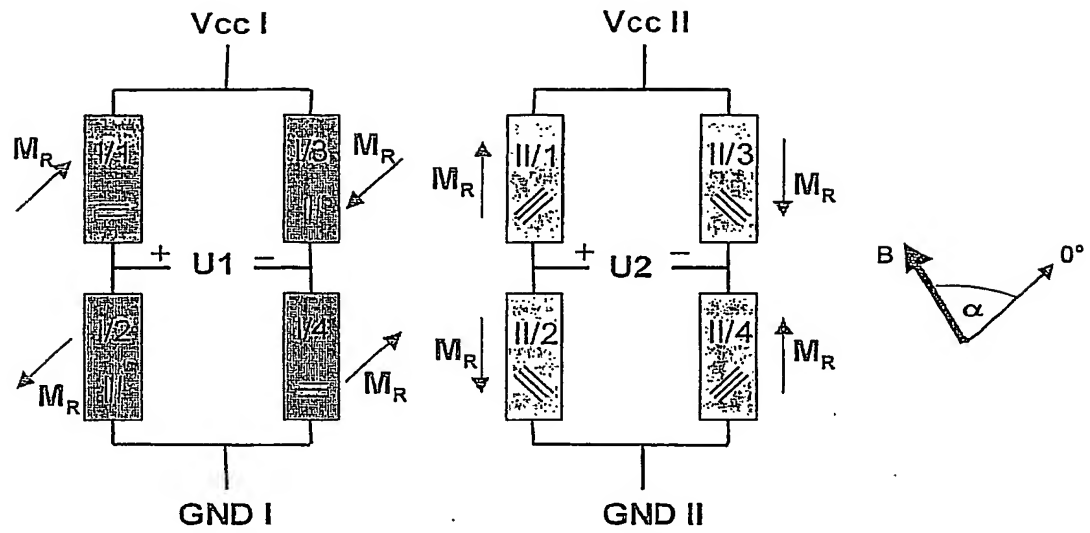


Fig. 4

5/8

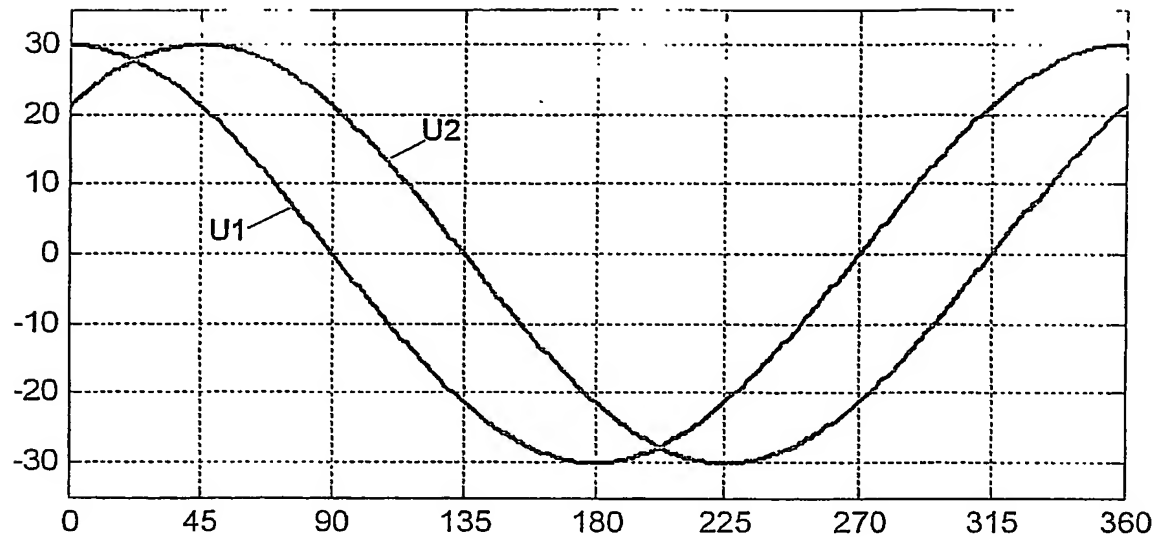


Fig. 5a

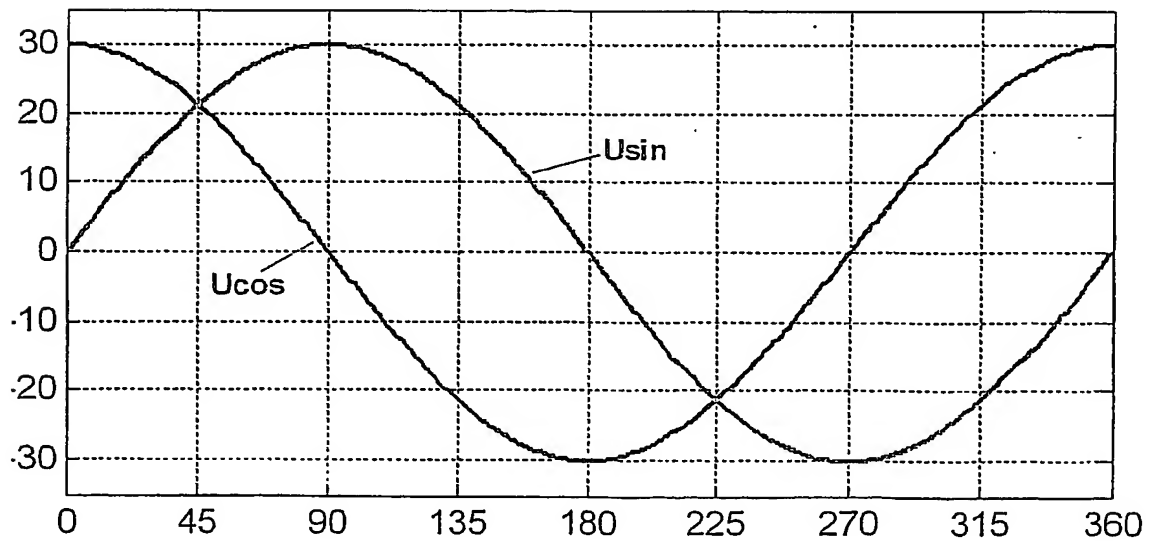


Fig. 5b

6/8

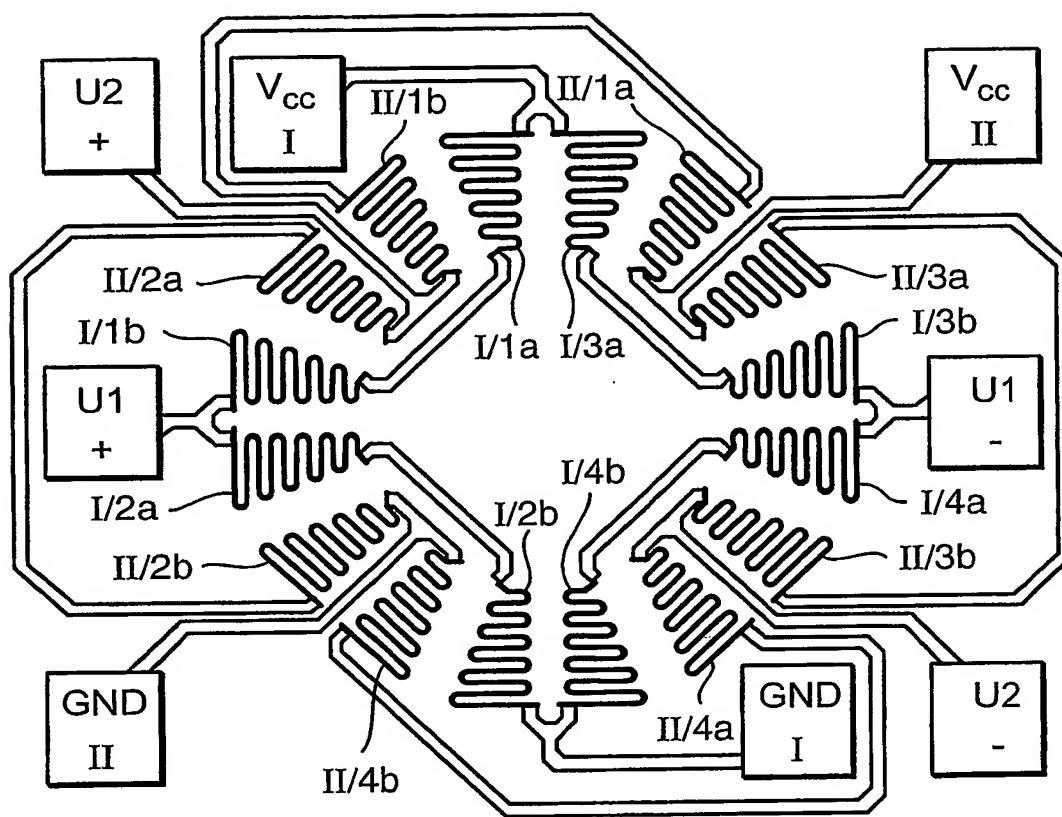


Fig. 6

7/8

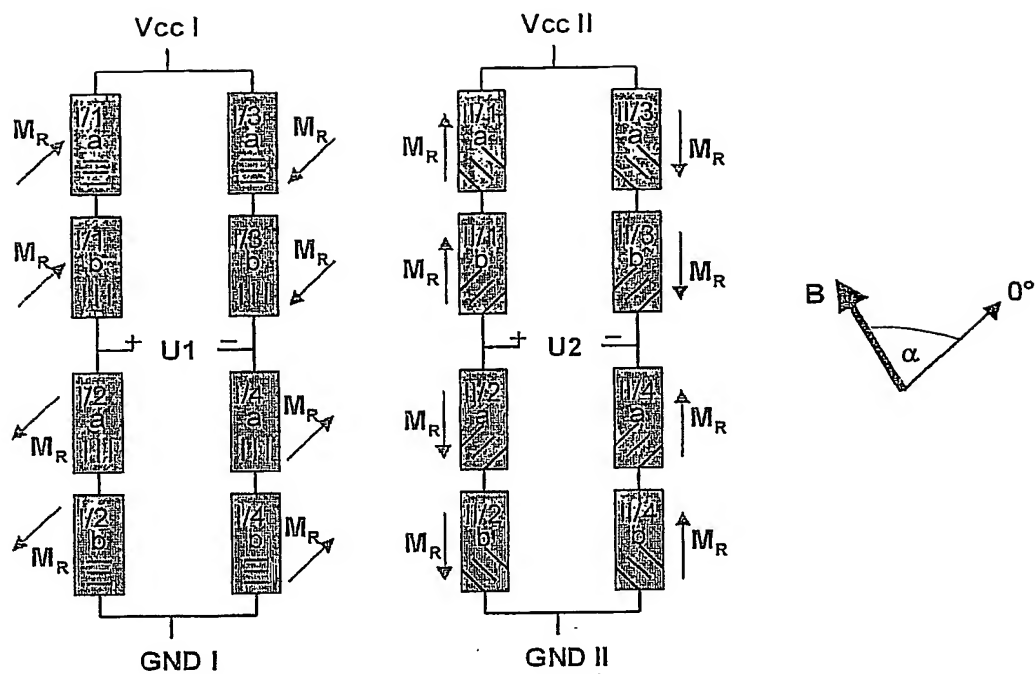


Fig. 7

8/8

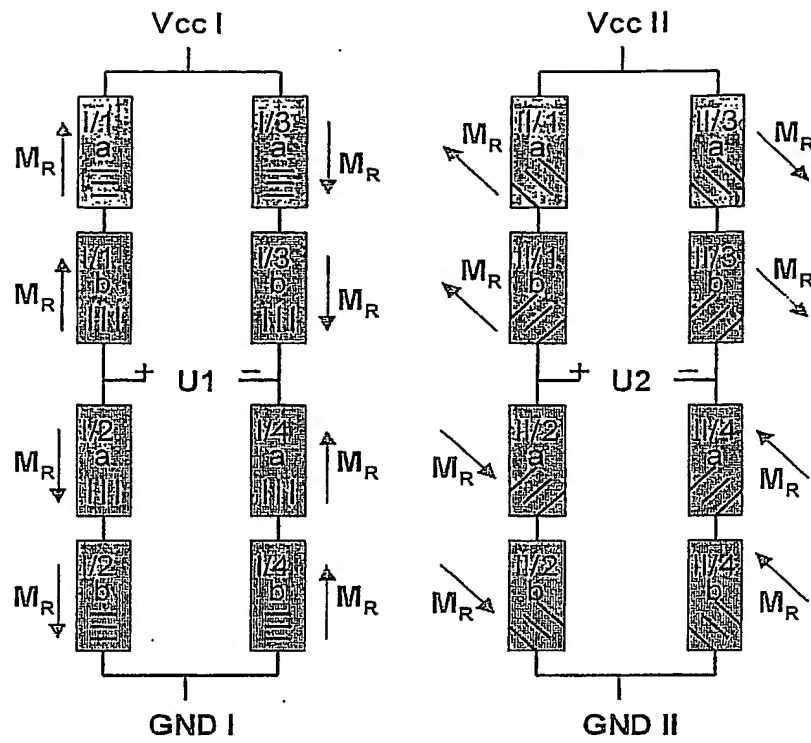


Fig. 8